

정적 연소실 환경에서 pre-chamber 체적 변화에 따른

암모니아 난류 제트 점화의 연소 특성에 관한 수치해석적 연구

김 정 현¹⁾, 박 정 수^{*2)}

조선대학교 기계공학과¹⁾, 조선대학교 기계공학과²⁾

Numerical Study on Combustion Characteristics of Ammonia Turbulent Jet Ignition with Pre-Chamber Volume Variation in Constant Volume Combustion Chamber

Jeonghyeon Kim¹⁾ · Jungsoo Park^{*2)}

Undergraduate School, Department of Mechanical Engineering, Chosun University Republic of Korea¹⁾

Department of Mechanical Engineering, Chosun University Republic of Korea²⁾

Key words : Computational fluid dynamics(전산유체역학), Constant volume combustion chamber(정적 연소기), Ignition delay(점화 지연), Pre-chamber(예연소실), Turbulent Jet Ignition(난류 제트 점화)

교신저자, E-mail: j.park@chosun.ac.kr

탄소중립 실현을 위한 대안 연료로서 암모니아(NH_3)는 무 탄소 분자구조로 연소 시 이산화탄소(CO_2) 배출이 없는 청정연료이다. 특히 상온에서 약 10bar의 비교적 낮은 압력으로 액화가 가능하며, 기존 인프라와의 높은 호환성을 보유하여 내연기관의 차세대 연료로 각광받고 있다. 그러나 암모니아는 약 680mJ의 높은 최소점화에너지, 924K의 자발화 온도 그리고 6~10cm/s의 낮은 층류 화염 속도로 인해 기존 SI(Spark Ignition) 시스템에서 연소 안정성 확보에 한계가 존재한다. TJI(Turbulent Jet Ignition) 시스템은 pre-chamber에서 예비 연소된 고온·고압의 제트를 main-chamber로 분출하여 높은 TKE(Turbulent Kinetic Energy)와 넓은 화염면적을 통해 암모니아의 난연한계를 개선할 수 있다. 하지만 pre-chamber의 기하학적 형상 변수는 연소 특성에 영향을 미치는 핵심 설계 인자이며, 형상에 따른 암모니아 화염 전파와 연소특성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 암모니아 연료엔진에 TJI를 적용하기 위한 기초연구로서 외부 동적 요인의 간섭을 배제하고 연소 거동을 정밀하게 관찰할 수 있는 CVCC(Constant Volume Combustion Chamber)를 통해 pre-chamber 체적 변화에 따른 암모니아 연소 특성을 수치해석적으로 분석하였다. 수치해석은 CFD(Computational Fluid Dynamics) software CONVERGE 3.1을 활용하였으며, pre-chamber를 spark-region, neck-region, orifice-region의 3개의 구역으로 구분하였다. 체적의 선정은 spark-region의 직경을 변화하여 약 2.7ml, 5.1ml, 8.4ml로 설정되었으며 상세한 형상은 Fig. 1과 같다. neck-region과 orifice-region은 고정하였다. Orifice 직경과 개수는 선행연구 결과를 통해 각각 3.5mm, 1개로 결정하였으며 해석 조건은 초기압력 6bar, 초기온도 450K, 당량비는 1.2로 설정하였다.

Pre-chamber 체적이 2.7ml에서 8.4ml로 증가함에 따라 연소 가능한 연료-공기 혼합기량이 증가하여 TKE가 증가하였으며 이로 인해 점화지연이 단축되는 경향성을 확인하였다. 특히 8.4ml의 pre-chamber에서 높은 초기 열방출률을 확인하였으나 높은 TKE를 통한 급격한 연소 과정으로 최고 연소압력과 최고 연소온도가 2.7ml의 pre-chamber에 비해 각각 약 3%, 2%감소하는 경향을 확인하였다. 본 연구는 pre-chamber의 체적이 암모니아 연소 성능 개선에 미치는 영향을 확인하였으며, 이는 암모니아 연료 엔진에 TJI 시스템 적용을 위한 기초설계 데이터로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

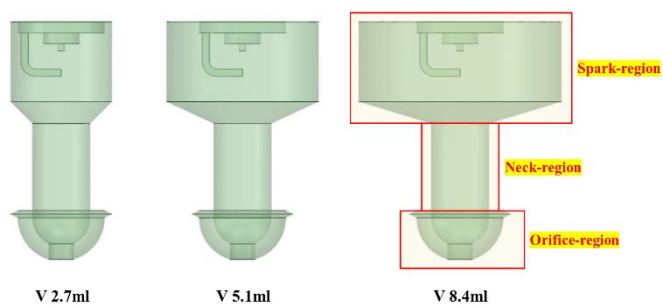


Fig. 1. Pre-chamber volume variation

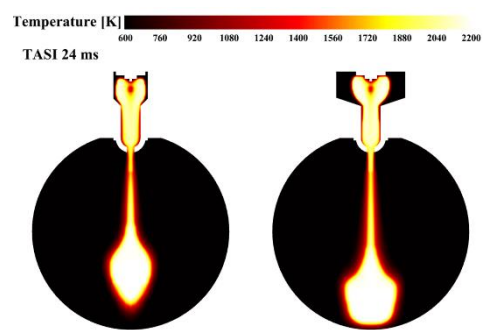


Fig. 2. Effect of pre-chamber volume on Flame propagation